KAUKRAFT UND KAUDRUCK BEI GROSSEN UND KLEINEN TIEREN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER ZAHNÄRZTLICHEN DOKTORWÜRDE

AN DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

VORGELEGT VON

DIMITER PETEFF

AUS SOFIA (BULGARIEN)

Tag d. Promot,der 29.VII,1927

VERLAGSBUCHHANDLUNG JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1927

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin.

Dekan: Prof. Dr. Arnd
Referent: Prof. Dr. R. du Bois Reymond
Korreferent: Prof. Dr. Ruber

Sonderabdruck aus:
Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1927, Heft 21.

Das Ziel dieser Untersuchung ist nicht etwa, die Kaukraft ihrer absoluten Größe nachzumessen, sondern die Bedingungen, von denen ihre Größe abhängt, nämlich Bau der Kiefer, Anordnung und Stärke der Muskeln und anderes mehr bei verschiedenen Tieren zu prüfen und daraus Schlüsse auf die relative Kaukraft bei verschiedenen Tieren, insbesondere auch bei Tieren von verschiedener Größe zu ziehen.

Zuvörderst möchte ich aber noch folgende angeblich wörtlich übersetzte Lehre von Galilei vorausschicken, die einen Grundzug für meine Untersuchung bildet (1); „es läßt sich leicht beweisen, daß nicht bloß die Menschen, sondern auch selbst die Natur die Größe ihrer Schöpfung nicht über eine gewisse Grenze hinaus ausdehnen kann, ohne ein festeres Material zu nehmen und ohne sie monströs zu verdicken, so daß ein Tier von riesigen Dimensionen eine unmäßige Dicke haben muß. Beispielsweise zeichnete ich einen Knochen bloß um das Dreifache gegen den ursprünglichen verlängert und in dem Verhältnis verdickt, daß er imstande sei, dem größeren Tiere dieselben Dienste zu leisten, die der kleine dem zugehörigen Organismus leistet. (Hierzu ist zu bemerken, daß Galilei dem vergrößerten Knochen irrtümlicherweise neunmal so großen Durchmesser gegeben hat, als der ursprüngliche Knochen hatte, während er eigentlich nur 4,3 mal so dick zu sein brauchte.) Stellen wir uns einen kolossalen Riesen vor, der dieselben Proportionen der Glieder wie ein gewöhnlicher Mensch besäße, so müßte entweder für seine Knochen ein viel festeres Material verwendet werden, oder aber er würde relativ schwächer als ein gewöhnlicher Mensch sein. Demnach haben kleine Organismen verhältnismäßig mehr Kraft als größere; ein kleiner Hund mag wohl zwei oder drei gleiche Hunde auf seinem Rücken tragen können, während ein Pferd kaum ein anderes Pferd zu tragen vermöchte".

Diesen Gedankengang hat in neuerer Zeit u. a. Prof. du Bois-Reymond (2) weiter ausgeführt und etwa folgendermaßen zusammengefaßt: Maschinen und Organismen können nicht ohne Veränderung ihrer Proportionen in größerem oder kleinerem Maßstabe ausgeführt werden, schon weil Festigkeit und Gewicht ihrer Teile bei veränderter Größe ihr Verhältnis zueinander ändern.

Unter Berücksichtigung dieses Grundsatzes wird zu untersuchen sein, ob der Kauapparat bei größeren und kleineren Tieren wesentlich stärker oder schwächer gebaut ist, oder ob die Kauapparate etwa geometrisch ähnlich gebaut sind, wie Braikoff bei Ratte und Maus festgestellt hat. (Vergl. D. M. f. Z. 1927, H. 5, S. 193.)

Kaukraft und Kaudruck.

Durchblättert man die zahnärztliche Literatur über Kaudruck, so wird man zwei auffällige Umstände bemerken; erstens gibt es mit wenigen Ausnahmen keine scharfen Definitionen der Ausdrücke Kaudruck und Kaukraft, zweitens werden die beiden Ausdrücke oft als gleichbedeutend gebraucht, oder gar die beiden Begriffe verwechselt, was darauf hindeutet, daß man sich über deren Auffassung nicht einig ist. Prof. du Bois-Reymond hat mir gegenüber seine Ansicht dahin ausgesprochen, daß man Kaukraft von Kaudruck unterscheiden müsse. Der Zug der Kaumuskeln am Unterkiefer ist eine Kraft, die füglich als „Kaukraft" bezeichnet werden kann. Eine Kraft, die auf eine Fläche wirkt, nennt man Druck. Unter „Kaudruck" wäre daher der Druck zu verstehen, den unter der Einwirkung der Kaumuskeln die Zähne aufeinander ausüben. In beiden Fällen wird der größte erreichbare Wert als Maß der Größe der Kraft oder des Druckes gelten. Daß eine solche Unterscheidung erforderlich ist, wird man aus folgenden Stellen aus verschiedenen zahnärztlichen Werken erkennen können:

I. Tholuck (3) sagt, „durch die Anspannung bestimmter Muskeln wird der bewegliche Unterkiefer gegen den feststehenden Oberkiefer gepreßt. Die Kraft, die hierbei auf die Zähne ausgeübt wird, bezeichnen wir im Sprachgebrauch mithin als Kaudruck."

Max Müller definiert den Kaudruck kurz als „Endpreßdruck".

Noch andere Anschauungen über den Kaudruck gehen aus der Darstellung von W. Richter (4) hervor: „Die Gesamtmenge der Kaumuskeln zerfällt in zwei Kräfte von verschiedener Richtung. Die reine Druckkraft hat die Richtung senkrecht auf die feststehende Drehachsenlinie in der Pupillengegend. Sie läuft also ungefähr radiär und zentripetal zum Kieferbogen (Verschiebungsbahn des Unterkiefers). Die gleitende Komponente aber hat annähernd die Richtung von Sekanten und Tangenten dieses Kreisbogens."

Ähnliches deutet Godon (5) an: „.....Wenn man sorgfältig das Spiel der Kieferbogen betrachtet, so sieht man, daß jeder Teil des Zahnes eine bestimmte Rolle spielt und einen beträchtlichen Druck, eine gehörige Kraft aushält....."

Ganz mit der obenerwähnten Ansicht von du Bois-Reymond übereinstimmend äußert sich H. Schröder (6) in seinem kürzlich erschienenen Handbuch der Zahnheilkunde mit der größten Bestimmtheit: „Zwischen Kaukraft und Kaudruck ist streng zu unterscheiden." „Unter Kaukraft verstehen wir die aktive Kraftleistung der Kaumuskeln, sie entspricht dem Gesamtquerschnitt der Kaumuskeln..... Zwischen den Zähnen kommt unter normalen Verhältnissen nur ein kleiner Teil dieser Kraft zur Auswirkung und diesen bezeichnen wir als Kaudruck".

Aus diesen Angaben folgt, daß für die Größe des Kaudruckes nicht allein die Kraft der Muskeln und deren Anordnung am Kiefer entscheidend ist, sondern auch die Größe der Fläche, auf die sich diese Kraft verteilt. Ganz allgemein gehört zur Angabe der Größe eines Druckes außer dem Maß der Druckkraft auch das Maß der Flächengröße, und zwar ist bei gleicher aufgewendeter Kraft der Druck um so geringer, je größer die Fläche, auf die sich die Kraft verteilt. Bisher hat zwar die Größe der Kaufläche bei der Betrachtung des Kaudruckes

nur wenig Beachtung gefunden, wie wesentlich sie ist, ist aber leicht an einem alltäglichen Fall zu erweisen: Unvermutetes Beißen auf einen kleinen, aber harten Gegenstand bringt an den beteiligten Zähnen lebhaften Schmerz hervor und kann sogar zur Beschädigung der Zähne führen. Daran ist nicht die Größe der angewendeten Kraft schuld, sondern deren Einwirkung auf eine sehr kleine Fläche. Im allgemeinen richtet sich die Größe der angewendeten Kaukraft von vornherein nach dem Maße des Kaudruckes, der erreicht werden soll. Wenn wegen der Erkrankung der Wurzelhäute starker Kaudruck schmerzhaft ist, wird unwillkürlich die angewendete Kaukraft gemäßigt.

Kaukraft bei Tieren.

Daß Kaudruck und Kaukraft bei verschiedenen Tieren ganz verschieden sein müssen, ist selbstverständlich, weil die Kautätigkeit eines jeden Tieres ein Ausdruck der Anpassung an eine bestimmte Nahrung ist. Diese Unterschiede treten besonders deutlich hervor in der Spezialisierung des Kiefer-

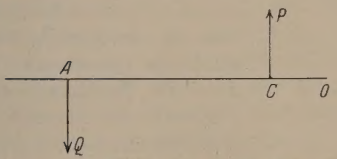

Abb. 1. Die Linie OA stellt den einarmigen Hebel dar. O ist der Drehpunkt (Querachse der Kiefergelenke). CP bezeichnet nach Größe und Richtung den Muskelzug, AQ ebenso den Widerstand, der zu überwinden ist. OC ist kleiner als OA.

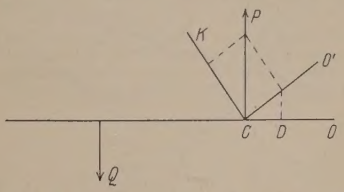

Abb. 2. OA, CT, AQ wie in Abb. 1. Wird die winklige Form des Unterkiefers in Betracht gezogen, so erhält die Strecke CO die Lage O'C, d. h. der Drehpunkt wird von O nach O' verlegt. Der Hebelarm der Kraft CP bemißt sich nach dem senkrechten Abstand vom Drehpunkt, ist also gleich dem Lot von O' auf CP, demnach etwas kürzer als der Hebelarm am gradlinigen Hebel OC.

gelenkes. Bei den Säugetieren dürfte dies aus einer universellen Urform entstanden sein, die etwa den Bau des Kiefergelenkes bei den Phalangeridae entsprechen soll. Die verschiedene Ernährungsweise hat dann eine verschiedene Entwicklung der Gelenkform hervorgerufen, da ganz allgemein die Form der Bewegungen zur Form der Gelenkflächen in enger gegenseitiger Beziehung steht.

Bei den Säugetieren unterscheiden wir drei Hauptbewegungsarten des Kiefers: bei den Raubtieren Öffnungs- und Schließbewegungen, bei den Huftieren (Pflanzenfressern) seitliche Bewegungen und bei den Nagetieren Vor- und Rückwärtsbewegungen. Dem entspricht auch der Bau der Kiefer und die Anordnung der Muskeln.

Für die Öffnungs- und Schließbewegungen kann der Unterkiefer als ein einarmiger Hebel aufgefaßt (Abb. 1 u. 2) werden, der sich um die gemeinsame Querachse der beiden Kiefergelenke dreht und auf dem die Kaumuskeln näher an der Drehachse (etwa am Processus coronoideus) als Kraft angreifen, während die Last in Form des Widerstandes der zwischen den Zähnen befindlichen Nahrung gegen das Zerdrücken sich in größerer Entfernung von der Drehachse befindet.

Den Zug der Öffner des Mundes und das Eigengewicht des Kiefers in die Betrachtung einzubeziehen, ist überflüssig, weil diese Kräfte im Vergleich zu den anderen ganz unbeträchtlich sind (R. du Bois-Reymond).

Die Bezeichnung des Unterkiefers als Winkelhebel ist nicht richtig (7), da man bekanntlich einen Hebel Winkelhebel nennt, wenn Kraftarm und Lastarm einen Winkel bilden, mit anderen Worten, wenn der Drehpunkt am Scheitel des Winkels liegt, was bei dem Unterkiefer nicht der Fall ist. Auch daß durch den winkligen Bau des Unterkiefers größere Kraft notwendig ist, als wenn er einen geraden Hebel darstellt, trifft nicht so ohne weiteres zu. Es wäre nur richtig unter der Annahme, daß bei der Änderung des Winkels die Länge des aufsteigenden Astes dieselbe bliebe, da die Verkürzung des Kraftarms nicht nur von der Winkelgröße, sondern auch von der Länge des aufsteigenden Astes abhängt.

Die Lage der Angriffspunkte von Kraft und Last können nicht genau angegeben werden. Aus der anatomischen Kenntnis der Ansatzstellen der Muskeln kann man aber ungefähr schätzen, in welcher Entfernung vom Kiefergelenk der Punkt zu suchen ist, in dem die Resultante der Zugkräfte der sämtlichen einzelnen Muskeln angreifen würde. Ebenso wird man als Angriffspunkt der Last, wenn eine elastische Masse zwischen den Kauflächen zerquetscht wird, etwa den Schwerpunkt (Flächenmittelpunkt) der Kaufläche annehmen dürfen.

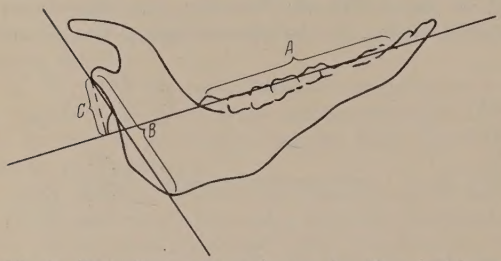

Abb. 3. Darstellung einiger der an den Tierschädeln gemessenen Strecken. A Länge des Kieferkörpers, B Länge des aufsteigenden Astes, C Höhe der Kondylen.

Nach dem Hebelgesetz: Last × Lastarm = Kraft × Kraftarm, muß die Kraft des Muskelzuges im allgemeinen beträchtlich stärker sein als die Kraft, die als Kaudruck erscheint. Diese für die Kraftentfaltung ungünstige Anordnung der Muskeln ist nicht etwa als ein Fehler in dem sonst so zweckmäßigen Bau des Körpers anzusehen; der vordere Teil des Unterkiefers muß von Muskelansätzen frei bleiben, weil sonst die Größe der Mundspalte beeinträchtigt und dadurch die Nahrungsaufnahme behindert werden würde. Die Muskeln der Gliedmaßen arbeiten bekanntlich großenteils mit einem noch viel ungünstigeren Kraftverhältnis, aber was an Kraft dabei zugesetzt wird, kommt der Bewegungsgröße zugute (R. du Bois-Reymond).

Um nun die Hebelverhältnisse und die übrigen für den Kaudruck bei Tieren maßgebenden Größen kennen zu lernen, habe ich im Zoologischen Museum unter freundlicher Beihilfe des Herrn Dr. Pohle, dem ich dafür an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank sagen möchte, etwa zweihundert Säugetierschädel untersucht, und zwar habe ich die Maße genommen, die die beifolgende Bezeichnung andeutet, nämlich:

1. Die Länge von den Kondylen zum vorderen Ende des Unterkiefers.
2. Breitenabstand der Proc. condyloidei.

3. Länge des Kieferkörpers (A) (Abb. 3).
4. Länge des aufsteigenden Astes (B) (Abb. 3).
5. Höhe der Kondylen (C) (Abb. 3).
6. Größe der Winkel zwischen aufsteigendem Ast und Kieferkörper.
7. Längsabstand der Kondylen von der Querverbindung der Proc. coronoidei.
8. Entfernung des hintersten Backenzahnes von den Kondylen und einige Messungen, die für die obenerwähnten Zwecke von geringerer Bedeutung sind, wie sagittale und transversale Erstreckung der Kaufläche der Backenzähne u. a. m.

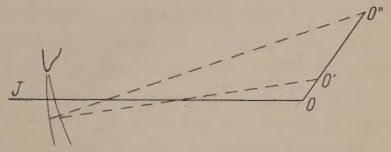

Abb. 4. OJ stellt den Unterkieferkörper dar. O′ und O″ bezeichnen die Lage des Kiefergelenks bei verschiedener Höhe des Kondylus. Man sieht aus den bei J angedeuteten Kreisbogen, daß die Richtung der Bewegung der Zähne bei Drehung um O′ annähernd senkrecht, bei Drehung um O″ dagegen schräg ist.

Bei diesen Messungen treten gewisse Eigentümlichkeiten der oben genannten Tiergruppen: Raubtiere, Huftiere, Nagetiere hervor, die sich aus der Ernährungsweise der betreffenden Tiere erklären; so sieht man aus der nachfolgenden Tabelle 1, daß die Höhe der Kondylen bei Raubtieren viel geringer ist als bei Huftieren. Dies erklärt sich aus der Form der Kaubewegungen, die wieder von der Nahrung abhängen. Bei den Raubtieren, die fast ausschließlich Öffnungs- und Schließbewegungen ausführen, gleiten die scharfspitzigen Zähne aneinander vorbei, fassen scharf ineinander und dienen zum Zerreißen des Fleisches und Zersplittern der Knochen. Um diese Wirkung besser zu entfalten, müssen die Zähne nicht schräg aufeinander treffen, sondern möglichst senkrecht, und dies ist von der Höhe der Kondylen abhängig, wie aus der Abb. 4 zu ersehen ist.

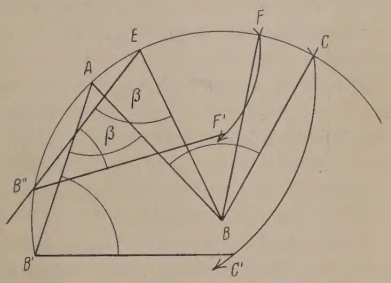

Abb. 5. Erklärung im Text.

Tabelle 1.

Höhe der Kondylen zu Abstand vom vorderen Ende des Unterkiefers.

Raubtiere:

Meles	1 : 26	Vulpes lagopus	1 : 9
Nasua	1 : 5	Wolf	1 : 9
Katze	1 : 10	Schakal	1 : 11
Waschbär	1 : 5	Perodiction	1 : 14
Vulpes japanicus	1 : 8	Fuchs Manguste	1 : 11
Vulpes caama	1 : 7,3	Suricata	1 : 10
Canis Azarae	1 : 9	Otocyon caffer	1 : 6,3

Huftiere:

Reh	1 : 4	Hirschkuh	1 : 4
Zebra	1 : 4	Wasserbock	1 : 4
Wildschwein	1 : 5,5		

Tabelle 2.

Entfernung der Kondylen voneinander im Vergleich mit der Entfernung derselben vom mittleren Vorderpunkt des Unterkiefers.

Raubtiere:

Löwe	1 : 10	Vulpes lagopus	1 : 2
Katze	1 : 1,3	Canis Azarae	1 : 2
Meles	1 : 1,6	Wolf	1 : 2
Nasua	1 : 2	Schakal	1 : 2
Eisbär	1 : 1,7	Perodiction	1 : 1,5
Waschbär	1 : 1,7	Fuchs-Manguste	1 : 1,8
Vulpes japanicus	1 : 2	Suricata	1 : 1,5
Vulpes caama	1 : 2	Otocyon caffer	1 : 2

Huftiere:

Reh	1 : 3	Hirschkuh	1 : 3
Zebra	1 : 3	Wasserbock	1 : 34
Wildschwein	1 : 3		

Je mehr sich der Punkt O (das Gelenk) der Linie JO (am Kieferkörper) nähert, um so mehr nähert sich die Richtung der Zähne der Senkrechten.

Vergleicht man den Querabstand der Kondylen voneinander bei Raubtieren und Huftieren (vgl. Tabelle 2), so sieht man, daß der Abstand der Kondylen bei den Huftieren viel kleiner ist als bei den Raubtieren, was sich wiederum aus den an die Nahrung angepaßten Kaubewegungen beider Tierarten erklären läßt. Die seitlichen Kieferbewegungen bei den Huftieren werden nicht, wie oft angenommen worden ist (6), hauptsächlich durch das Fehlen der oberen Schneidezähne begünstigt, denn bekanntlich haben Pferd, Zebra und andere Huftiere obere Schneidezähne und führen trotzdem ziemlich große seitliche Kaubewegungen aus. Vielmehr kommt es auf die Größe des Querabstandes der beiden Kiefergelenke voneinander an. Je geringer im Vergleich zur Länge des Kiefers der Abstand der Kiefergelenke voneinander, um so größer kann der Ausschlag des Kiefers bei seitlicher Bewegung sein. Dies soll die Zeichnung Abb. 5 veranschaulichen.

Man denke sich zwei Unterkiefer mit gleicher Entfernung der Kondylen vom vorderen Endpunkt des Unterkiefers, aber verschiedenem Querabstand der Kondylen voneinander, wie es die beiden Dreiecke ABC und EBF darstellen. Wird jetzt das Dreieck ABC um A und das Dreieck EBF um E, nämlich um diejenigen Eckpunkte, die die beiden rechten Gelenke der beiden Unterkiefer vorstellen sollen, um den gleichen Winkel β gedreht, so sehen wir, daß der Punkt F einen bedeutend kleineren Bogen beschreibt, als der Punkt C. Das bedeutet, daß der linke Kondylus des Malkiefers einen bedeutend kleineren Weg zurücklegt, sich also weniger aus seiner Ruhelage entfernt, als der Kondylus des breiten Kiefers. Bei gleicher Verschiebung in den Gelenken werden also desto weitergehende seitliche Bewegungen möglich sein, je kleiner der Querabstand der Kondylen. Bei vergleichenden Messungen sieht man, daß die Kiefer von Tieren derselben Art im großen und ganzen gleich gestaltet sind. Sie weichen wohl etwas voneinander ab, aber diese Abweichungen sind bei den einzelnen Schädeln derselben Art untereinander eben so groß, wie bei denen von verschiedenen Arten. Daher gewähren die Messungen selbst eine Grundlage zur Unterscheidung wichtiger und für die Funktion wesentlicher Formen von Formen mehr zufälliger Art.

Der Winkelfortsatz der Säugetiere stellt eine Einrichtung dar, vermöge derer die Flächenausdehnung des Kieferastes so vergrößert ist, daß bestimmte Fasergruppen des M. masseter und pterygoideus int. die für ihre Funktion nach dem Maße ihrer Kontraktionsfähigkeit erforderliche Masse und Länge und eine dem besonderen Mechanismus des Kiefergelenkes entsprechende Zugrichtung und überhaupt genügenden Platz zu ihrem Ansatz erhalten. Daher ist der Winkelfortsatz ein wesentlicher Teil im gesetzmäßigen Bau des Kiefers, stets symmetrisch und nach Lage, Richtung, Form, Größe für jede einzelne Spezies ganz charakteristisch und konstant (nach C. Told).

Der wichtigste Faktor bei der Kautätigkeit ist selbstverständlich die Kaumuskulatur. Fabian (9) behauptet, die Muskelkraft im allgemeinen und somit auch die der Kaumuskeln, werde von der Intensität des Stoffwechsels beeinflußt und sei deshalb bei kleinen Tieren relativ größer. Gewiß ist die Kraft der Kontraktionen von der Menge des dabei im Muskel umgesetzten Stoffes abhängig. Da aber dieser Umsatz mit der Stärke der Erregung schwankt, kann er nicht dem Gesamtumsatz des Tieres proportional gesetzt werden. Übrigens ist der Unterschied im Gesamtumsatz bei kleinen und großen Tieren relativ ganz gering und verschwindet neben dem Unterschied in der relativen Muskelkraft (R. du Bois-Reymond). Die Beziehung der Muskelkraft zur Körpergröße wird vielmehr durch folgende Umstände bedingt: Bekanntlich wird die Kraft irgendeines Muskels bestimmt, indem man dasjenige Gewicht sucht, das dem Kontraktionsbestreben des Muskels gerade das Gleichgewicht hält. Die Kraft des Muskels wächst mit der Dicke des Muskels, mit anderen Worten mit der Größe seines Querschnitts. Hierfür gibt Rudolf Fick (10) folgendes Beispiel; man denke sich eine Anzahl gleicher Gummifäden, die das eine Mal nebeneinander, das zweite Mal der Länge nach aneinander geknüpft sind. Die gleiche Anzahl Gummifäden kann bei der ersten Anordnung das Mehrfache des Gewichts tragen, das sie bei der zweiten Anordnung trägt. Angenommen einer der Gummifäden könnte 1 g tragen und man knüpfte 100 von diesen Gummifäden hintereinander, so würde doch die Last nur an einem sehr langen Faden hängen, sie dürfte also auch nicht mehr als 1 g betragen. Bindet man aber die 100 Fäden nebeneinander, so hat jeder einzelne nur $^1/_{100}$ der Last zu tragen, das ganze Bündel ist also imstande, 100 g zu tragen. Demnach ist die Kraft des Muskels von der Zahl seiner Fasern, mithin vom Querschnitt abhängig und wird auch auf je 1 qcm des Querschnitts bezogen, wenn man ihr Maß zahlenmäßig ausdrücken will. Wie weiter unten gezeigt werden wird, ist bei verschieden großen Tieren das Verhältnis der Flächen gleich dem der Quadrate der Längenmaße. Bei einem kleineren Tier sind daher die Querschnittsflächen der Muskeln im Vergleich zum Gewicht, das mit dem Würfel der Längenmaße wächst, weitaus größer als bei einem größeren Tier.

Bei den Raubtieren, die nur Öffnungs- und Schließbewegungen ausführen, ist der Musculus temporalis kräftig und umfangreich. Schläfengrube und Proc. coronoidei sind entsprechend gestaltet, um genügenden Raum für ihn zu schaffen. Bei den Wiederkäuern und Einhufern ist dagegen dieser Muskel verhältnismäßig schwach. Bei den Nagern ist er ebenfalls nur wenig entwickelt und damit übereinstimmend die Schläfengrube sehr klein. Das fällt gleich auf, wenn man zwei Schädel von Raubtier und von Wiederkäuer

oder Nager von oben ansieht. Als ein Beispiel habe ich die Schädel von Löwe und Reh abgezeichnet.

Bei Wiederkäuern und Nagern, von denen die ersten vorwiegend seitliche Kaubewegungen machen, die zweiten Vor- und Rückwärtsbewegungen des Unterkiefers ausführen, ist im Gegensatz zu den Raubtieren der M. masseter stark entwickelt. Dies ist aus Tabelle 4 zu ersehen, die ich der vortrefflichen Schrift von Fabian (9) entnehme. Sie gibt die Gewichtszahlen für Masseter und Temporalis und man sieht, daß der Temporalis bei Raubtieren bis zu zweimal schwerer ist als der Masseter, der seinerseits bei Huf- und Nagetieren mehrere Male so schwer ist als der Temporalis. Dem entspricht auch der Bau des Unterkiefers bei den genannten Tiergruppen: der aufsteigende, den Gelenkfortsatz tragende Ast ist zu einer hohen und in sagittaler Ebene verbreiterten Fläche umgebildet und bietet den schräg nach hinten oder nahezu wagerecht verlaufenden Muskelbildungen des Masseter breiten Ansatzraum. Die genannten Teile dieses Muskels ziehen bei einseitiger Wirkung den hinteren Rand des Unterkiefers nach außen und vorn und drehen dadurch den ganzen Kiefer nach derjenigen Seite, auf der gekaut wird (11).

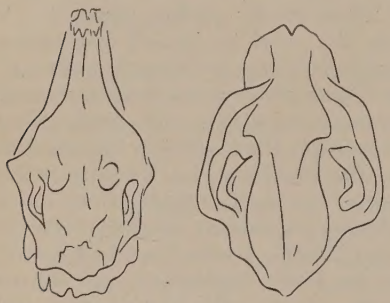

Abb. 6. Schädel vom Reh und vom Löwen, von oben gesehen.

Dasselbe ist der Fall bei den Nagetieren, wo das Kiefergelenk ein Vorwärtsziehen des ganzen Unterkiefers durch gleichzeitige Wirkungen des Masseters beider Seiten gestattet (11). Masseter und Temporalis übertreffen die anderen Kaumuskeln so sehr an Kraft, daß sie schon allein als maßgebend für die Kautätigkeit anzusehen sind. Zum Beweise setze ich Tabelle 3 her, die ich wiederum aus Fabian entnehme. Sie bezieht sich ausschließlich auf Affen, doch ist das Verhältnis bei Raubtieren, Huftieren und Nagetieren nicht wesentlich anders.

Tabelle 3.

Affen	M. temp.	M. mass.	M. pt. int.	M. plet.	M. dig.	M. myloh.
Stummelaffe	12,140	8,880	5,250	2,600	1,880	0,250
Cercopithecus Diana . . .	1,850	1,700	0,150	0,220	0,250	—
Erythrocebus patos . . .	4,700	2,250	0,900	0,300	0,500	0,250
Macacus rhesus	5,800	2,870	1,650	0,480	0,730	—
Cynocephalus	9,800	6,300	3,300	0,900	1,800	0,700
Mormon, Kleinkopfpavian	18,300	11,900	5,100	2,100	1,700	0,800
Sphinx-Pavian	8,250	7,100	3,000	1,000	1,100	0,800
Mantel-Pavian	21,000	11,450	7,000	2,100	1,550	—
Dschelada	32,000	19,000	8,900	3,550	3,650	—
Hamadryas	86,100	28,150	12,000	3,800	3,000	—
Dschelada	102,300	36,400	14,000	4,350	5,400	—
Callithrix pennicellata . .	0,700	0,590	0,220	0,100	0,070	—

Gewichte in Gramm angegeben.

Ich darf mich deshalb mit der Betrachtung des Masseter und Temporalis begnügen.

Zu bemerken ist noch, daß die in der Tabelle unter Masseter aufgeführten Gewichte sich auf diesen Muskel im gebräuchlichen Sinne beziehen, das heißt, einschließlich des M. zygomaticomandibularis und des bei vielen Nagern anzutreffenden M. maxillomandibularis. Told will diese Muskeln unter besonderer Bezeichnung von dem eigentlichen Masseter unterschieden wissen. Sie weichen von diesem auch in ihrem Verlaufe mehr oder weniger ab und müssen daher auch eine andere Wirkung auf den Kiefer ausüben. Hierauf ist bei Benutzung der in der Tabelle angegebenen Zahlen zu achten. Wenn der im allgemeinen mit der Verlaufsrichtung des Temporalis ziemlich übereinstimmende M. zygomaticomandibularis auch oft sehr schwach ist, so kann er doch auch bedeutende Größe erlangen, wie z. B. bei der Seekuh, wo der Masseter 49,00 und der mehr mit der Verlaufsrichtung des Temporalis übereinstimmende M. zygomaticomandibularis 20,400 g wiegt. Bemerkenswert ist auch die Angabe Tolds: „daß die Stärke des Zygomaticomandibularis vielfach im umgekehrten Verhältnis zu der des Temporalis steht".

Die Wägungen, die Fabian an den Kaumuskeln zahlreicher Tierarten ausgeführt hat, können für eine Vergleichung der Kaukraft bei großen und kleinen Tieren benutzt werden. Zu diesem Zwecke gebe ich zunächst die von Fabian angegebenen Gewichtszahlen (in Gramm) in der folgenden Tabelle 4 wieder.

Nach den angegebenen Gesamtgewichten habe ich nun eine Anzahl Paare von je einem großen und einem kleinen Tiere von ähnlichem Körperbau zusammengestellt (vgl. Tabelle 5). Bei den gleichen Tierarten habe ich selbst den Abstand der Kondylen vom vorderen Ende des Unterkiefers gemessen. Berechnet

Tabelle 4 (nach Fabian).

Tiere	Gesamt-Körpergewicht	M. temp.	M. mass.
Raubtiere:			
Eisbär	—	695 500	208 000
Nasenbär	3 330	25 350	6 800
Canis Azarae	3 500	18 700	7 300
Fuchs-Manguste	462	3 350	1 200
Suricata tetradactilata	556	39 200	1 700
Silberfuchs	—	12 420	5 700
Tiger		331 700	252 000
Katze	—	6 290	3 150
Huftiere:			
Hauspferd	—	226 000	120 200
Reh	—	14 740	23 210
Zebra	—	—	—
Hirschkuh	—	81 000	164 400
Affen:			
Cercopithecus Diana	—	1 850	1 700
Mandrilus	3 750	9 700	6 300
Dschelada	13 000	102 300	36 400
Hamadrias	115 000	32 800	—
Colobus	3 820	12 140	8 080
Wasserbock	48 200	102 000	—

Tabelle 5.

Kleine Tiere	Große Tiere	Verhältnis zwischen M. temp.	M. mass.	Kiefergröße
Silberfuchs	Canis azaris	1 : 1,16	1 : 1,10	1 : 1,2
Katze	Tiger	1 : 3,6	1 : 4,2	1 : 3,6
Nasenbär	Eisbär	1 : 3	1 : 3,1	1 : 2,8
Reh	Hirschkuh	1 : 1,8	1 : 2	1 : 2
Fuchs-Manguste	Suricata tetradactila	1 : 1,06	1 : 1	1 : 1,06
Cercopithecus Diana	Mandrilus	1 : 1,7	1 : 1,6	1 : 1,8
Dschelada	Hamadryas	1 : 1,1	1 : 1	1 : 1,1
Colobus	Hamadryas	1 : 1,2	1 : 1,6	1 : 1,8

man für jedes Paar das Verhältnis dieses Längenmaßes, so erhält man die Zahlen im letzten Stabe der Tabelle 5.

Zieht man aus den Gewichtszahlen für die Kaumuskeln, die in der Tabelle 4 stehen, die dritten Wurzeln, so stellen diese gewissermaßen ein ideales Längenmaß der betreffenden Muskeln vor (2). Diese Zahlen stehen für jedes Paar, wie man aus den ersten Stäben der Tabelle 5 ersieht, zueinander, und zu der Längenmessung am Kiefer, in nahezu gleichem Verhältnis. Die Übereinstimmung ist sogar als überraschend groß zu bezeichnen. Dies beweist, daß für die verwendeten Maße, nämlich die Länge von Kiefer und Muskeln zwischen den großen und kleinen Tieren völlige Proportionalität besteht, und daraus ist mit größter Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß dies auch bei den übrigen Körperteilen der Fall ist, daß mithin zwischen den größeren und kleineren Tieren nicht nur annähernde, sondern fast vollkommene geometrische Ähnlichkeit besteht.

Dies stimmt mit dem Ergebnis einer Untersuchung von du Bois-Reymond (2) an Ratten und Mäusen und an Fröschen von verschiedener Größe und mit Kettners Angaben über Meerschweinchen überein. Für die Kaumuskeln und die Maße des Unterkiefers hat Braikoff (D. M. f. Z. 1927. H. 5. S. 193) für Ratten und Mäuse dasselbe bestätigt. Man darf also wohl im Gegensatz zu den von Gallilei ausgesprochenen Gedanken bei größeren und kleineren Tieren im allgemeinen geometrische Ähnlichkeit voraussetzen. Hiervon ausgehend ist auf Grund der Beziehungen zwischen Länge, Fläche und Rauminhalt bei geometrisch ähnlichen Gebilden für die Kaukraft folgendes zu schließen:

Setzen wir alle Dimensionen eines beliebigen konkreten Tieres = 1 und konstruieren wir nunmehr in Gedanken nach diesem realen Vorbilde, ein Tier B als linear genau verdoppelte Kopie. Das Gesamtgewicht des Tieres B und das Gewicht jedes seiner einzelnen Teile wäre dann achtmal so groß wie die entsprechenden Gewichte am Tiere A, während alle Querschnitte und mithin auch die Muskelquerschnitte nur viermal so groß wären, wie die entsprechenden Flächen beim Tiere A. Mithin erwiese sich das Tier B in bezug auf seine Muskelkräfte als nur halb so ausgestattet wie das Tier A, da ja die Kraft der Muskeln ihrem Querschnitt proportional ist. Wendet man diese Betrachtung auf die Kaumuskeln an, so ergibt sich, daß die Kaukraft des Tieres B viermal so groß wäre wie die des Tieres A. Die Kaufläche des Tieres B ist aber ebenfalls viermal so groß wie die Kaufläche des Tieres A.

Der Kaudruck ist demnach beim Tier B nur ebenso groß wie beim Tier A.

Mit dem gleichen Kaudruck auf der vierfachen Fläche wird das Tier B viermal soviel Nahrung verarbeiten können wie das Tier A. Da es aber achtmal so schwer ist, scheint es in dieser Beziehung ungünstig gestellt zu sein. Nun geht aber nach dem sogenannten Oberflächengesetz, das wiederholt experimentell bestätigt worden ist, der Stoffumsatz bei großen und kleinen Tieren nicht dem Körpergewicht, sondern der Körperoberfläche proportional. Folglich steht die Leistung des Kauapparates bei den großen Tieren zu seinem Nahrungsbedürfnis doch in gleichem Verhältnis wie bei den kleineren. Die Betrachtung von Galilei hat also für die Kautätigkeit keine Geltung.

Literatur.

1. Welcker, Hermann: Gewichtswerte der Körperorgane bei den Menschen und den Tieren. Arch. f. Anthropol. Bd. 28. 1903. — 2. du Bois-Reymond: Festschrift zum 50jährigen Dozentenjubiläum des Geh.-Rat Prof. Dr. L. Stieda. Halle a. d. S. 1912. — 3. Tholuck: Der Kaudruck. Dtsch. Zahnheilk. 1925. H. 59. — 4. Richter: Unterkiefer einarmiger oder zweiarmiger Hebel. Dtsch. Monatsschr. f. Zahnheilk. 1921, H. 17 u. 18. — 5. Godon: Betrachtungen über mechanische Wirkungen der Kiefer. Zeitschr. f. zahnärztl. Orthop. 1900. H. 6, 10, 11 u. 12 und 1908. H. 1. — 6. Schröder, H.: Lehrbuch der technischen Zahnheilkunde. 1927. — 7. Loecker, L.: Lehrbuch der Physik. 1914. — 8. Told: Der Winkelfortsatz des Unterkiefers. Sitzungsber. d. mathem.-naturw. Kl. d. Akad. d. Wiss. Bd. 114, Abt. 3. 1905. — 9. Fabian, H.: Studie zur Kaufunktion. Dtsch. Zahnheilk. 1925. H. 65. — 10. Rieckelmann: Beitrag zur systematischen Prothetik. H. Meusser 1920. — 11. Krabbe: Einige Bemerkungen über mechanische Verhältnisse der Kauwerkzeuge und der Kaubewegungen. Dtsch. Zeitschr. f. Tiermed. u. vergl. Pathol. Bd. 19. — 12. Morelli: Über Kaudruck. Wien. Vierteljahrsschr. f. Zahnheilk. 1920. H. 4. — 13. Rosenthal: Über die Kraft der Kaumuskeln. Sitzungsber. d. Physik.-med. Sozietät in Erlangen. 1905. H. 27. — 14. Weigele: Ein Versuch am Bau des Unterkiefers. Die Gesetze der Mechanik. Korresp.-Blatt f. Zahnärzte. 1921. — 15. Euler-Port: Lehrbuch der Zahnheilkunde. — 16. Lubosch, W.: Universelle, spezialisierte Kaubewegungen bei Säugetieren. Biolog. Zentralbl. 1907. — 17. Teutleben: Über Kaumuskeln und Kaumechanismus bei den Wirbeltieren. Arch. f. Naturwiss. Bd. 1, Jg. 40. 1874. — 18. Köhler: Versuch, die Gesetze der Statik und Mechanik in die Betrachtung der Physiologie und Form des menschlichen Gebisses einzuführen. Dtsch. Monatsschr. f. Zahnheilk. 1921 u. 1923. — 19. Henke, Knorz: Die Größe der absoluten Muskelkraft. Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 24, 3. Reihe. 1865. — 20. du Bois-Reymond: Gelenkbewegungen und spezielle Muskelphysiologie. Ergebn. d. Physiol. Jg. 2. Abtl. 2.— 21. Hertwig, R.: Lehrbuch der Zoologie. 1919. — 22. Wetzel, G.: Lehrbuch der Anatomie. 1922. — 23. Herbst: Zahnärztliche Orthopädie.

Lebenslauf.

Ich, Dimiter Peteff, bin geboren am 6. 1. 1904 zu Haskowo, als Sohn des Zahnarztes P. Peteff. Meine Schulbildung habe ich erlangt durch den Besuch des Realgymnasiums zu Sofia, welches ich am 12. Juli 1923 mit dem Reifezeugnis verließ. Am 24. Mai 1924 wurde ich in der medizinischen Fakultät der Universität Berlin immatrikuliert. Im Mai 1925 habe ich meine zahnärztliche Vorprüfung abgelegt.